

【原 著】

# 理科教育における Web ベースの対話型 3 次元結晶構造教材

山川 純次

The Web-based Interactive three-dimensional Crystal Structure Materials for Scientific Education

Junji YAMAKAWA

2013

岡山大学教師教育開発センター紀要 第3号 別冊

Reprinted from Bulletin of Center for Teacher Education  
and Development, Okayama University, Vol.3, March 2013

## 原 著

## 理科教育における Web ベースの対話型 3 次元結晶構造教材

山川 純次<sup>※1</sup>

要旨：理科教育における Web ベースの対話型 3 次元結晶構造教材として X3D 形式あるいは 3D PDF を使ったシステムを比較検討した。どちらの形式も e-ラーニングシステムと高い親和性を持ち、また初学者と専門家の空間概念の把握に関するギャップを埋める教材として優れていると考えられた。データの継続使用を考えた場合、オープン規格である X3D 形式と対応 Web ブラウザを用いるシステムが適していた。一方、高品位な印刷が必要な場合は 3D PDF と Adobe Reader を組み合わせたシステムが適していると考えられたが、将来に渡る継続利用を考慮した場合、このシステムはプロプライエタリである点に留意して運用しなくてはならないだろう。

キーワード：3D PDF, X3D, 結晶構造, 理科教材

※1 山川 純次（岡山大学大学院自然科学研究科）

## I. 序論

現在、結晶質物質の結晶構造データは Hall, Allen and Brown (1991) により定義された Crystallographic Information Framework (CIF) 形式を使って共有されている。結晶学の専門家が使用する VESTA (Monma and Izumi, 2006) 等のソフトウェアを使えば、この CIF 形式から結晶構造の 3 次元イメージを得ることが出来る (図 1)。

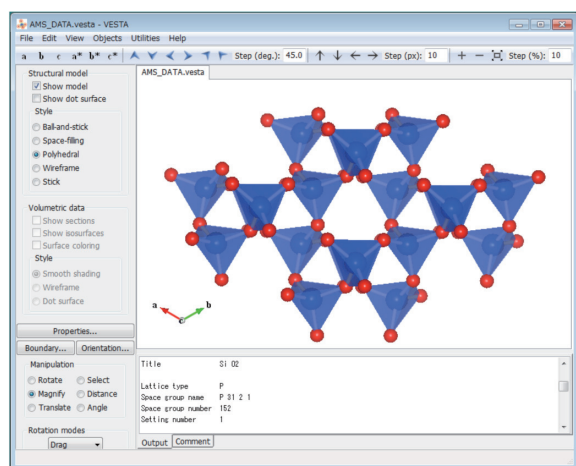


図 1: VESTA

これらのソフトウェアは結晶構造の回転や拡大縮小が対話的に行えるため、結晶質物質の研究においては必要不可欠なツールとなっている。しかしこれらの専門的なソフトウェアは一般的に操作が難しい。そのため結晶学の初学者が、学習している物質の結晶構造を理解するために、各自で CIF 形式のデータ

ファイルを取得し、これらのソフトウェアを操作して 3 次元イメージを得ることは困難である。したがって結晶構造を扱う講義では、結晶構造を 2 次元で表現した教材を使用している。実際の結晶構造は 3 次元であるため、この 2 次元教材は結晶構造を理解するための障害になっていると考えられる。この点を改善するために、結晶構造モデルを多数準備する方法も考えられるが、複雑な結晶構造の場合は模型製作自体の難易度が高くなり、また保管にもスペースを必要とするなどのデメリットが大きくなる。さらに現代の学習者は 3 次元的に表現されるエンターテインメントに親しんでいるため、本来は 3 次元である結晶構造を 2 次元教材で提供することは彼らの学習意欲を削いでいるとも考えられる。このため、結晶構造を効率よく理解するためには、学習者が結晶構造を対話的かつ 3 次元的に回転や拡大縮小を自由に行える教材を開発する必要がある。

この、対話的に操作可能な結晶構造教材を Web ベース、すなわち Web ブラウザで閲覧可能な技術を使って実現すれば、近年になって急速に普及している e-ラーニングシステムのインタラクティブ性を利用した教育も更に高度化することが可能になる。従来のように、結晶構造に講師の視点に基づいて回転操作や拡大縮小操作を施す過程を記録した動画を提供し、学習者にそれを視聴させて結晶構造を理解させようとするのではなく、学習者が自由に操作可能な結晶構造教材を提供し、それぞれの意図に応じて対話的に操作できるようにすれば、学習意欲と学習効率は一段

と改善されると予想できる。またこの教材は結晶学の専門家と初学者の間の結晶構造認識能力のギャップを埋める教材としても利用可能である。

今回、Web ベースの対話型 3 次元結晶構造教材を検討したので報告する。

## II. 方法

### 1. 結晶構造データ

現在、結晶構造解析法により決定された結晶質物質の結晶構造は大部分が CIF 形式でアーカイブされている。また、岩石を構成する鉱物の結晶構造に関する CIF 形式データは主に American Mineralogist Crystal Structure Database (Downs and Hall-Wallace, 2003) にアーカイブされており、誰でも自由に利用可能である (図 2)。

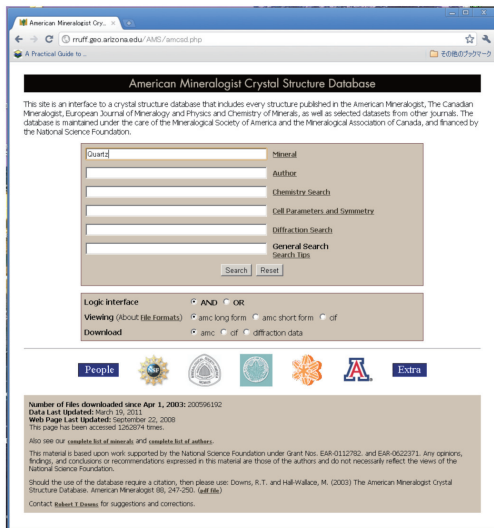


図 2. American Mineralogist Crystal Structure Database

今回の教材作成では、このデータベースから取得した石英の結晶構造データ (Kihara, 1990) を使用した。

### 2. 3 次元データフォーマット

対話的に操作可能な 3 次元データフォーマットには Extensible 3D (X3D) 形式と 3D PDF を使用した。



図 3. web3D コンソーシアム

X3D 形式は XML ベースの 3D フォーマットで web3D コンソーシアムにより推進されており、ISO/IEC 19775-1:2008 として承認されている。X3D 形式はその前身である VRML (Virtual Reality Modeling Language) が用いられてきたリアルタイム性を必要とする仮想現実の分野で広く使われている。また X3D 形式はオープン規格であるため、これを利用できるソフトウェアは商用 / フリーとも多数存在する。さらに X3D 形式は基本的にテキスト形式のデータであるため、可読性や異なるオペレーティングシステム間での可搬性に優れている (図 3)。

一方、3D PDF は Adobe 社により開発され公開された 3 次元フォーマットである。現在は権利が Adobe 社から 3D PDF コンソーシアムに移管され、ISO 24517-1:2008 として承認されている。3D PDF は主に 3 次元 CAD のデータ提示に利用されており、建築やプラントエンジニアリングの分野で広く用いられている (図 4)。



図 4. 3D PDF コンソーシアム

### 3. X3D 形式のデータ作成

CIF 形式で取得した結晶構造データを X3D 形式のデータに変換するためには、VESTA や CrystalMaker (CrystalMaker Software, 2012) 等が利用できる。また CIF 形式のデータを使わず、単純な結晶構造を描画する場合は一般的な 3 次元モデラーである blender (Stichting Blender Foundation, 2012) や Google SketchUp (Google, 2012) 等が利用できる。これらのソフトウェアは通常、それぞれのソフトウェアに固有の形式でデータを保存するが、設定を変更することにより X3D 形式で保存可能である。今回の教材作成では CIF 形式のデータファイルを X3D 形式に変換するために VESTA を使用した。

X3D 形式に変換した結晶構造データの表示には、

これに対応する Web ブラウザが利用できる。現在, Google Chrome (Google, 2012), Apple Safari (Apple Computer, 2012) そして Mozilla Firefox (Mozilla Foundation, 2012) が X3D 形式の表示に対応している。これらの Web ブラウザはフリーで利用可能であり, また OS に標準装備あるいはそれに準じたアプリケーションとして広く利用されている。今回の教材表示ではこれら全ての Web ブラウザを使用して, 3 次元結晶構造の表現における同一性を確認した。

#### 4. 3D PDF への変換

結晶構造データを 3D PDF に変換するためには Adobe Acrobat を使用する。Acrobat Version 9 は 3D PDF 生成機能を装備していたが Acrobat Version X 以降はこの機能が分離され, Acrobat に対する 3D PDF converter 機能追加ソフトウェアとして Tetra4D 社より提供されている。Acrobat と 3D PDF converter はどちらも商用ソフトウェアでありライセンスを購入して利用する必要がある。3D PDF 生成ソフトウェアにはこの他にも, Share3D PDF (Quadrispace, 2012) や RPS 3D PDF (RenderPlus, 2012) などの商用ソフト, そして Bentley View V8i (Bentley Systems Inc., 2010) の様なフリーで利用可能なソフトウェアがある。

3D PDF の表示は Adobe Reader の Version X 以降で可能である。Adobe Reader は利用に当たっての追加コストは不要であり, また広く普及しているソフトウェアである (図 5)。

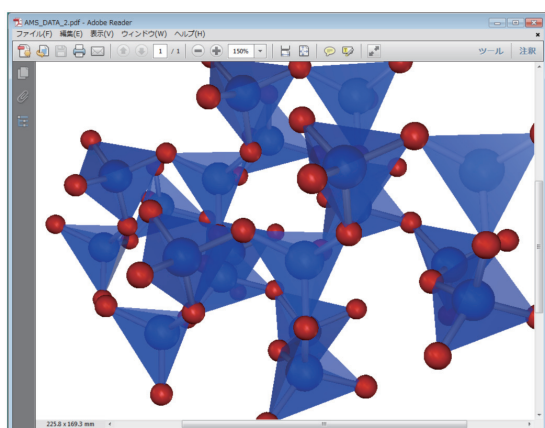


図 5. Adobe Reader で表示した 3D PDF 形式の結晶構造

今回の教材作成では 3D PDF 変換に Bentley View V8i, 表示に Adobe Reader アプリケーションとその Web ブラウザプラグインを使用した。

### Ⅲ. 結果

X3D 形式に変換した結晶構造データを対応ブラウザで表示することで, 結晶構造の拡大や縮小は閲覧者が自由に行えることが確認された。動作スピードは 2012 年現在の標準的な性能の PC において十分なものであった。一方, 表示された結晶構造の高品位印刷が難しい点が明らかになった (図 6)。

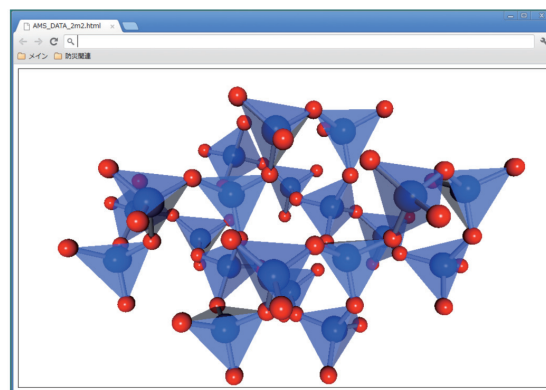


図 6. Google Chrome で表示した X3D 形式の結晶構造

Adobe Reader で表示した 3D PDF 結晶構造も拡大縮小や回転などの操作が閲覧者によって自由に行えることが確認された。これに加え Adobe Reader では高品位印刷にも対応していた。また Web ブラウザ用プラグイン版の Adobe Reader を使用すればブラウザでのインライン表示が可能であった。このため Web ブラウザを利用した e-ラーニングシステムの利用時にも 3 次元結晶構造が問題なく閲覧可能であることが示された。

### Ⅳ. 考察

X3D 形式と 3D PDF に変換した結晶構造データを理科教材として用いた場合について, 操作性, 印刷品質そしてデータの継続利用性の 3 点から検討した。

#### 1. 操作性

X3D 形式の結晶構造データを Web ブラウザで表示した場合は, 3D PDF の結晶構造データを Adobe Reader で表示した場合より高速かつ安定であった。これは X3D 形式を用いた教材のほうが, やや性能の低い PC でも結晶構造を閲覧できることを示している。閲覧システムの性能に対する要求水準が低いので, X3D 形式は様々な利用者が想定される e-ラーニングシステムにより適していると考えられる。



## 2. 印刷

3D PDF に変換した結晶構造データは、Adobe Reader を使うと高品位で印刷可能であった。この点は X3D 形式を利用するシステムに対して優位であると考えられる。しかし講義や学習の過程において結晶構造データを印刷する必要性は今後低下してゆくと予測される。これは Slate 端末や Ultrabook などの軽量端末の常時携帯が進むことにより、講義の受講者はこれらの端末を利用して 3D 形式に変換した結晶構造を講義中に自由に操作できるようになり、結晶構造を印刷した資料は不要となると予想されるからである。このため 3D PDF が高品位印刷可能であるという優位性は今後、徐々に失われてゆくと考えられる。

## 3. データの継続利用性

結晶構造データを講義資料として使用する場合、データの継続性が重要な問題になる。データ作成にはかなりの時間を必要とするため、一度作成したデータは継続的な利用が期待される。今後数年間は現時点で作成したデータは継続利用が可能であると予測できる。しかし 10 年以上先を考えた場合はデータの継続利用は保障できない。一般的にデータが利用できなくなる最大の原因は閲覧ソフトウェアの不稼働である。これはソフトウェア供給企業によるサポートの中止や OS のバージョンアップによる誤動作などによることが主な原因である。この点を考慮すると、3D PDF は Adobe 社のプロプライエタリなソフトウェアシステムのみで閲覧可能であるため、データの継続利用性は Adobe 社の方針に依存している。一方、X3D 形式はオープンな標準規格であり、作成ソフトウェアや閲覧ソフトウェアが多数存在し、特定の企業の方針に依存するものではない。したがってデータの継続利用性を考慮すると、X3D 形式が優位であると考えられる。

## V. 総論

理科教育における Web ベースの対話型 3 次元結晶構造教材として X3D 形式と 3D PDF 形式のそれぞれに変換したデータを用いるシステムを比較検討した。どちらの形式も e-ラーニングシステムと高い親和性を持ち、また初学者と専門家の間に存在する空間概念把握能力に関するギャップを埋める教材として優れていると考えられる。データの継続使用を考えた場合、オープンな標準規格である X3D 形式とこれに対

応した Web ブラウザを用いるシステムが適していると考えられる。このシステムはまた、X3D 形式に対応した Web ブラウザの追加インストールのみで 3 次元教材の利用が可能になるため、学習者の PC 操作コストをほとんど増大させない点も優れている。このため e-ラーニングシステムなどを使った講義への導入が容易であると考えられる。一方、高品位な印刷が必要な場合は 3D PDF 形式と Adobe Reader を組み合わせたシステムが適していると考えられる。しかしこのシステムはプロプライエタリである点に留意して運用しなくてはならない。

## 【参考・引用文献】

- Apple Computer.: Safari. 2012.  
 Bentley Systems Inc. : Bentley View. 2010.  
 CrystalMaker Software : CrystalMaker. 2012.  
 Downs, T. R. and Hall-Wallace, M. : The American Mineralogist crystal structure database. Am. Mineral., 88, 247-250, 2003.  
 Google. : Chrome. 2012.  
 Google. : SketchUp. 2012.  
 Hall, S. R., Allen, F. H. and Brown, I. D. : The Crystallographic Information File (CIF): A New Standard Archive File for Crystallography. Acta Cryst., A47, 655-685, 1991.  
 Kihara, K. : An X-ray study of the temperature dependence of the quartz structure. European J. Mineral., 2 63-77, 1990.  
 Momma, K. and Izumi, F. : An integrated three-dimensional visualization system VESTA using wxWidgets. Commission on Crystallogra. comput., IUCr Newslett., 7, 106-119, 2006.  
 Mozilla Foundation : Mozilla Firefox. 2012.  
 Quadrispace. : Share3D PDF. 2012.  
 RenderPlus. : RPS 3D PDF. 2012.  
 Stichting Blender Foundation : blender. 2012.

Title: The Web-based Interactive three-dimensional Crystal Structure Materials for Scientific Education  
Junji YAMAKAWA (Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University)

The X3D format and the 3D PDF were compared as a format for the Web-based interactive crystal structure educational materials. Both formats had a high affinity for the e-Learning system. The educational materials that made with those formats were superior on filling the gap between the beginners and specialists about the recognition of the spatial concept. In the case of maintaining the continuous use of the data, the system of the open and standardized X3D format and the free Web browsers was more adaptive. On the other hand, the system of the 3D PDF and Adobe Reader was required by the case of the high-quality printing of the educational materials. Because the latter system was proprietary, it will make some negative influence on the continuous use of the Web-based education materials. So, on the selection and continuous use of the system may be required some caution.

Keywords: X3D, 3D PDF, Crystal structure, Educational materials

---